

**Розроблення нових феноменологічних моделей та узагальненого методу прогнозування ресурсу експлуатації елементів конструкцій із композиційних матеріалів з врахуванням пошкоджуваності.**

**Разработка новых феноменологических моделей и обобщённого метода прогнозирования ресурса эксплуатации элементов конструкций из композиционных материалов с учетом повреждаемости.**

**Development of a new phenomenological models and general exploitation resource prediction method for construction elements made of composite materials in consideration of damage parameters.**

**1. Номер державної реєстрації теми - 0109U001607**

**2. Науковий керівник -** д.т.н., проф. Бобир М.І., Бобырь М.И., Bobyr` Mykola I.

**3. Суть розробки, основні результати.**  
**(укр.)**

Запропоновано нові теорії розрахунку ефективних напружень в металевих та композиційних (КМ) конструкційних матеріалах при складному пружнопластичному статичному і малоцикловому деформуваннях на основі концепції тензорів пошкоджуваності та з врахуванням функції пошкоджуваності. Отримано інваріанти тензорів і девіаторів пошкоджуваності та функції пошкоджуваності при пружнопластичному деформуванні конструкційного КМ, які враховують кінетику накопичення розсіяного руйнування від його зародження порогового значення до руйнування (на стадії зародження макротріщини).

Розроблено нові узагальнюючі рівняння стану та феноменологічні моделі, які описують кінетику накопичення розсіяних пошкоджень в (КМ) на стадії зародження макротріщини для умов складного технологічного та експлуатаційного термосилового навантажень що лежать в основі методу прогнозування ресурсу експлуатації деталей та елементів конструкцій. Встановлено вплив виду напруженого стану на знаки першого інваріанта тензора напружень та закономірності накопичення розсіяних пошкоджень в конструкційних матеріалах. Розроблено та обґрунтовано новий критерій руйнування КМ (на стадії зародження макротріщини), який враховує вплив характеристик компонентів на міцність та довговічність по параметру мало циклової втоми. При цьому враховується складність та нестационарність експлуатаційного навантаження. Розроблені методики визначення параметрів узагальненої феноменологічної моделі пошкоджуваності та критерію руйнування на стадії зародження макротріщини в анізотропному КМ. Проведений комплекс експериментально – теоретичних досліджень по визначенню границь використання розробленої моделі розсіяного руйнування та відповідного критерію для умов статичного та програмного мало циклового режимів навантаження при плоскому напруженому стані (розтяг – стиск – реверсивне кручення). Встановлено закономірності впливу параметрів анізотропії конструкційного КМ на кінетику накопичення пошкоджень з врахування швидкості навантажень (деформувань).

Розроблено метод та програмне забезпечення (на базі методу скінченних елементів) по прогнозуванню ресурсу експлуатації з врахуванням кінетики розсіяного руйнування деталей та елементів конструкцій.

**(рос.)**

Разработаны новые обобщающие уравнения состояния и феноменологические модели, которые описывают кинетику накопления рассеянных повреждений в (КМ) на стадии зарождения макротрещины для условий сложного технологического и эксплуатационного термосилового нагружения. Проведен комплекс экспериментально-теоретических исследований по определению границ использования разработанной модели рассеянного разрушения и соответствующего критерия для условий статического и программного малоциклового режимов нагрузки при плоском напряженном состоянии. Разработан метод и программное обеспечение (на базе метода конечных элементов) по прогнозированию ресурса эксплуатации с учетом кинетики рассеянного разрушения деталей и элементов конструкций.

(англ.)

There are developed new generalizing constitutive equation and phenomenological models, which describe dispersed damage accumulation kinetics in (CM) at macrocrack initiation stage in a case of complex technological and exploitation loading. There is performed a complex of experimental-theoretical researches to define applicability of developed dispersed fracture model and appropriated criteria in a case of static and programmed low-cycle loading for plane stress state. There is developed method and software (based on finite element analysis) for predicting exploitation resource in consideration of dispersed fracture kinetics in details and construction elements.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- Патент України №65499А. Спосіб визначення кінетики накопичення пошкоджень через зміну питомого електричного опору матеріалу при пружно-пластичному деформуванні / Бобир М. І., Грабовський А. П., Тимошенко О. В. Бюл. №3, – опубл. 15.03.2004;
- Патент на корисну модель № 56619. Спосіб визначення пошкоджуваності матеріалів за величиною залишкових деформацій при працюванні / 184. Бобир М. І., Грабовський А. П., Марочко А. В. – опубл. 25.01.2011 р.;

#### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Наукова робота не має аналогів у світі. Запропоновані методи та методики мають універсальний характер. Вони впроваджуються в різних галузях наукоємного та високо технологічного машинобудівного комплексу по прогнозуванню ресурсу елементів конструкцій, які виготовлені із металевих та КМ, з врахуванням кінетики накопичення розсіяних пошкоджень, технологічних та експлуатаційних термосилових навантажень.

#### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Впровадження методик дослідження кінетики накопичення розсіяних пошкоджень в трубопроводах систем гарячого міського водопостачання при напрацюванні дозволило достовірніше розрахувати залишковий ресурс експлуатації трубопроводів. Річний економічний ефект від впровадження методик діагностування сягає 380 тис. грн. на рік. Результати науково-дослідної роботи використовуються ВАТ «УкрНДІАТ» при оцінці напружено-деформованого стану елементів конструкції, а саме болтового з'єднання із полімерного композитного матеріалу з вуглецевою матрицею (ПКМ) та титану як елементу планера крила літального апарату з метою подальшого вибору оптимальних параметрів технології його серійного виробництва по нормативах цивільної авіації.

#### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Результати проекту планується використати в інженерній практиці КБ підприємств та організації авіакосмічного комплексу України (ВАТ «УкрНДІАТ», АНТК ім. О.К. Антонова, МБ «Південне», ПО «Мотор-Січ», ЗМКБ «Прогрес» та ін.); автопрому України (АвтоКРАЗ, АвтоЗАЗ); Нафтогаз України та Росії («Київтрансгаз», НПО «Заря», та ін.), ВАТ «Завод сантехнічних заготовок», Інституту механіки Отто-фон-Геріке університету Магдебурга у вигляді:

- На базі відповідного програмного забезпечення для систем автоматизованого проектування розробленого нового узагальненого конкурентоспроможного методу прогнозування і діагностики ресурсу експлуатації відповідальних виробів нової техніки машинобудівного комплексу.
- Комплексу нових експериментальних даних для широкого спектру перспективних КМ у вигляді узагальнених термомеханічних граничних поверхонь для програмного нестационарного навантаження (деформування).

Результати виконання проекту будуть використовуватись також в навчальному процесі при підготовці фахівців за магістерськими спеціальностями «Динаміка та міцність машин», «Обладнання для обробки металів тиском», «Інструментальне виробництво» та «Технологія машинобудування» у вигляді відповідних тем в спеціальних курсах лекцій, тем курсових та магістерських дипломних робіт.

## 8. Стан готовності розробки.

Розроблено та обґрунтовано узагальнену феноменологічну модель кінетики накопичення розсіяних пошкоджень, яка враховує основні параметри нестационарного технологічного та експлуатаційного навантажень; розроблено ефективний метод прогнозування ресурсу (в тому числі і залишкового) експлуатації відповідальних елементів конструкцій для умов нестационарного експлуатаційного навантаження.

## 9. Існуючі результати впровадження.

Результати науково-дослідної роботи використовуються ВАТ «УкрНДІАТ» при оцінці напружено-деформованого стану елементів конструкції, а саме болтового з'єднання із полімерного композитного матеріалу з вуглецевою матрицею (ПКМ) та титану як елементу планера крила літального апарату з метою подальшого вибору оптимальних параметрів технології його серійного виробництва.

Впроваджено методики дослідження кінетики накопичення розсіяних пошкоджень в трубопроводах систем гарячого міського водопостачання при напрацюванні, які виготовляються ВАТ «Завод сантехнічних заготовок», що дозволило ефективніше розрахувати залишковий ресурс експлуатації трубопроводів.

## 10. Назва організації, телефон, E-mail

НТУУ "КПІ", Механіко-машинобудівний інститут, кафедра динаміки і міцності машин та опору матеріалів, тел. (044) 236-10-43, e-mail: [m.bobyr@kpi.ua](mailto:m.bobyr@kpi.ua)



Автоматизована  
експериментальна установка на базі  
випробувальної машини Ви-02-112

Модернізований  
УМЕ-10ТМ

випробувальний



## 11. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

1. Бабенко А.Є., Бобир М.І., Боронко О.О. Теорія пружності (Частина 1). К. «Основа», 2009р., 235с.
2. Н. Бобырь, Я. Русински, Б. Яхно *Модели поврежденности элементов конструкций при сложном циклическом нагружении / OWDW, Wroclaw, 2011, 298p. (здана до друку).*
3. Коваль В.В. «Напружено-деформований стан конструктивного елементу з урахуванням розсіяних пошкоджень».– Київ: «Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування», 2008 р.
4. М. Bobyr, O. Khalimon, V. Koval “Damage and failure of the structural components at low cycle loading” 03056 Six International Conference on low cycle loading LCF 6. – Berlin, Germany, 2008, 796 p., pp. 499-504.
5. М.І.Бобир, О.П.Халімон, В.В. Коваль «Континуальна механіка пошкоджуваності у задачах малоциклової втоми». – Луцьк: «Наукові нотатки» міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»), № 25, частина 2, 2009 р., с. 16-21.
6. Бондарець О.А., Халімон О.П. «Термодинамічний підхід до описання кінетики накопичення розсіяних пошкоджень в конструкційних матеріалах» // Вісник НТУУ «КПІ» сер. Машинобудування. 2011р.-№61.-с.92-96.
7. І. Л. Гайдукевич, А.П. Грабовський «Кінетика накопичення пошкоджень в матеріалі при осьовому пружнопластичному деформуванні через зміну об'єму» // Вісник НТУУ «КПІ» сер. Машинобудування. 2009р.-№55.-с.88-97.
8. Грабовський А.П. «Комплексна оцінка пошкоджуваності матеріалу при пружнопластичному деформуванні». Праці 9-го міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові. Львів 20-22 травня 2009р., с.31-33.
9. Грабовський А.П., Марочко А.В. «Оцінка кінетики руйнування конструкційних матеріалів» // Вісник НТУУ «КПІ» сер. Машинобудування. 2011р.-№61.-с.121-125.
10. Бобир М.І., Грабовський А.П., Марочко А.В. «Особливості оцінки пошкоджуваності деталей обладнання при неізотремичному пружнопластичному навантаженні». Сборник трудов 17 международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера 21 века». Том 1, Донецк 2010, с. 91-98.
11. Бобырь Н.И., Бабенко А.Е., Халимон А.П. Континуальная механика поврежденности и ее использование в задачах сложного малоциклового нагружения. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - №4. -2008 – с.25-34.
12. Бобир М.І., Халімон О.П., Коваль В.В. Континуальна механіка пошкоджуваності та її використання в задачах складного малоциклового навантаження. // Праці. 9-й міжнародний симпозіум українських інженерів механіків у Львові. 20-22 травня 2009р. с.4-6.
13. Бобир М.І., Халімон О.П., Коваль В.В. Малоциклова втома матеріалів та елементів конструкцій при складному навантаженні. // Праці. 10-й міжнародний симпозіум українських інженерів механіків у Львові. 25-27 травня 2011р. с.5-6.
14. Й.Штракельян, Н.И. Бобырь, А.П. Халимон. «Прогнозирование долговечности элементов конструкций при циклической ползучести с учетом поврежденности». // Вестник НТУУ „КПИ”. Машиностроение. - №61.- 2011. – с.66-75.
15. Тимошенко О. В., Мохонько О. А. «Розрахунок критичних значень пошкоджуваності конструкційних матеріалів при пружно-пластичному навантаженні» // Вестник НТУУ „КПИ”. Машиностроение. – 2009р.